

5. Цанев, С.В. Расчет показателей тепловых схем и элементов газотурбинных и парогазовых установок электростанций [Текст]: монография / С.В. Цанев, В.Д. Буров, С.Н. Дорофеев и др. - М.: Изд. МЭИ, 2000. – 584 с.

Научный руководитель: Н.Н. Галашов, к.т.н., доцент, кафедра АТЭС ЭНИН ТПУ.

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА РУ БН-1200

Р.О. Цицер
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, группа 5031

Общая характеристика энергоблока

Разрабатываемый энергоблок БН-1200 выполнен по принципу моноблока: один реактор - одна турбина.

Тепловая схема энергоблока БН-1200 содержит три контура циркуляции. В 1 и 2 контурах находится теплоноситель (жидкий натрий), рабочее тело 3 контура – вода и пар.

Особенностью реакторной установки БН-1200 - интегральная компоновка 1 контура, при которой основное оборудование и активный теплоноситель 1 контура сосредоточены в баке реактора, заключенном в страховочный корпус.

Первый контур включает четыре петли циркуляции (в БН-800 три петли), каждая из которых имеет главный циркуляционный насос (ГЦН-1) и промежуточный теплообменник (ПТО).

Второй контур (промежуточный) также включает четыре петли, каждая из которых состоит из одного ПТО, двухкорпусного парогенератора (ПГ), ГЦН-2 с баком и трубопроводов.

Третий контур с паровым промперегревом включает турбину на давление пара 17 МПа и температуру пара 510°C, температура питательной воды принята равной 275°C.

Для исключения попадания радиоактивного натрия из первого контура во второй давление во втором контуре принято более высоким, чем давление в первом контуре.

В третьем контуре для упрощения схемно-компоновочных решений и конструкции ПГ, а также с целью повышения безопасности ПГ за счет минимизации поверхности теплообмена между водой и натрием, применена схема с паровым промперегревом пара.

С целью унификации оборудования выдачи электроэнергии в проекте БН 1200 применен генератор АЭС-2006. С целью обеспечения КПД (брутто) установки не менее 43,6% повышены температуры острого пара и питательной воды по сравнению с соответствующими параметрами энергоблока с РУ БН-800.

Энергоблок с РУ БН-1200 предназначен для работы в энергосистеме в базовом режиме. Число часов использования установленной электрической мощности принято равным 7884 за год ($KIUМ=0,9$), исходя из графика простоя энергоблока на перегрузки, ремонты и оцениваемых незапланированных потерь.

Новые технические решения

При разработке проекта РУ БН-1200 сохранена преемственность по принципиальным техническим решениям, положительно зарекомендовавшим себя в БН-600 и примененным в БН-800 [1, 2].

Принципиально новым решением является введение в бак реактора БН-1200 оборудования системы аварийного отвода тепла и системы очистки натрия первого контура. Последнее позволило полностью исключить возможность течи радиоактивного натрия наружу.

Для реактора БН-1200 разрабатываются два исполнения активной зоны – с нитридным и МОКС-топливом. В проекте принята пониженная энергонапряженность активной зоны (не более 230 МВт/м³ вместо ~450 МВт/м³ в БН-600 и БН-800) и, соответственно, укрупненный ТВЭЛ диаметром не менее 9,3 мм. Укрупнение ТВЭЛ в совокупности с планируемым поэтапным повышением выгорания МОКС топлива до 120 МВт·сут./кг, нитридного топлива – до 90 МВт·сут./кг обеспечит значительное увеличение кампании ТВС и снижение затрат на топливо. Наряду с этим достигается увеличенный интервал между перегрузками – 1 год вместо 0,5 года для БН-600 и БН-800. С учётом этого КИУМ БН-1200 обеспечивается на уровне 0,9.

В проекте БН-1200 снижено нейтронное облучение внутриреакторных конструкций. Это одна из мер, направленных на обеспечение увеличенного срока службы реактора - 60 лет.

Конструкцию ПГ в проекте БН-1200 предполагается существенно укрупнить (с учетом продемонстрированной высокой надежности прямотрубного ПГ БН-600) с целью снижения материалоемкости РУ. Предусмотрено использование вертикальных и прямоточных корпусного типа ПГ (8 модулей), для БН- 600 – 72 модуля, для БН-800 – 60 модулей. Кроме того, с целью увеличения ресурса ПГ в них предусмотрено использовать новый конструкционный материал – сталь 07Х12НМФБ.

Также с целью снижения материалоемкости второго контура для компенсации температурных расширений предусмотрены сильфонные компенсаторы и исключена запорная арматура.

Система перегрузки БН-1200 значительно упрощена благодаря принятию ряда новых решений и снижению остаточного энерговыделения в выгружаемых ТВС за счет увеличения их выдержки во внутриреакторном хранилище до двух лет. Благодаря последнему решению исключен, в частности, натриевый барабан для промежуточной выдержки отработавших ТВС перед их отмывкой и транспортировкой в бассейн выдержки.

Существенные изменения в конструкции РУ БН-1200 предусматриваются по системам безопасности [3].

С целью минимизации последствий ЗПА в проекте РУ БН-1200 наряду с пассивной аварийной защитой планируется ввести дополнительные стержни пассивного принципа действия, срабатывающие при повышении температуры натрия в реакторе.

В проекте БН-1200 рассмотрена специальная система локализации аварийных выбросов, которая отсутствует в БН-600 и БН-800.

Для локализации аварийных выбросов используется объем надреакторного пространства (аналог контейнента).

Система аварийного отвода тепла подключена непосредственно к первому контуру через автономные теплообменники (АТО), установленные в баке реактора. Воздушные теплообменники (ВТО) соединены с АТО промежуточным натриевым контуром.

В отличие от проекта БН-800, в котором ВТО присоединены ко второму контуру, принятая в БН-1200 схема повышает надежность функционирования САОТ, поскольку исключает влияние второго контура на ее работу. САОТ включает четыре независимых канала суммарной мощностью 80 МВт, что составляет 2,7% от номинальной мощности реактора и обеспечивает естественную циркуляцию по всем контурам.

В проекте предусматривается схема системы охлаждения воды бассейна выдержки (БВ) с однофазным термосифоном, при этом не требуется обеспечения:

- надежного технического водоснабжения – охлаждение в БВ осуществляется атмосферным воздухом;
- надежного электроснабжения в режиме обесточивания - система работает на принципе естественной циркуляции.

Использование пассивных систем безопасности обеспечивает значительное сокращение количества оборудования в системе аварийного электроснабжения (САЭ) по сравнению с БН-800.

В проекте БН-1200 постулируется тяжелая авария с расплавлением активной зоны. На этот случай в нижней части корпуса реактора, как в проекте БН-800, предусматривается поддон из тугоплавкого металла для исключения выхода топлива в шахту реактора. В этой ситуации выполняет свои функции и герметичное надреакторное помещение, задерживая пары радиоактивного натрия и аэрозоли.

В проекте энергоблока с РУ БН-1200 обеспечивается модульность компоновки технологических систем (все четыре петли выполняются в идентичных строительных конструкциях в плане и по высоте), применены разъемные страховочные кожухи трубопроводов, компенсация температурных перемещений осуществляется при помощи сильфонных компенсаторов.

Для расчетного обоснования проекта используется комплекс расчетных проектных кодов, создаются коды нового поколения. К настоящему времени около 60% кодов аттестованы, остальные находятся в стадии верификации и аттестации.

Верифицируется тест-симулятор, разработанный на базе математической модели энергоблока с РУ БН-1200 на основе расчетного кода РАСНАР-БН.

Для обоснования проекта выполнен большой объем расчетных и экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования проводятся как на существующих, так и на вновь созданных стендах (включая натриевые стенды). Для проведения исследований созданы рабочие участки стендов, экспериментальные модели, макеты, опытные образцы.

Оценка эффективности новых технических решений

Реализация новых технических решений позволит:

- сократить количество технологических (~14 систем) обеспечивающих систем;
- снизить протяженность основных натриевых трубопроводов второго контура примерно в 1,8 раза по сравнению с БН-800;
- снизить количество натриевой и пароводяной арматуры РУ более чем на 900 единиц по сравнению с РУ энергоблока БН-800;
- уменьшить на ~200 метров длину вентиляционных коробов из нержавеющей стали диаметром 400 мм;
- снизить объем электрообогрева и количество кабельной продукции примерно в 2 раза по сравнению с БН-800;
- отказаться от надежно технического водоснабжения;
- для системы аварийного электроснабжения (САЭ):
- снизить мощность дизель-генераторов САЭ \approx на 50%,
- уменьшить общее количество ДГУ на два,
- уменьшить общее количество оборудования САЭ \approx на 40%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. М.Р. Аширметов, Б.А. Васильев, В.М. Поплавский, С.Ф. Шепелев. Разработка проекта энергоблока с РУ БН-1200 // Международная конференция FR-13, Париж, Франция, 2013 г.
2. Б.А. Васильев, Ю.Л. Каманин, В.В. Гладков и др. Совершенствование оборудования реакторных установок на быстрых нейтронах // Атомная энергия, 2010, т. 108, вып. 4, с. 241-245.
3. Б.А. Васильев, В.И. Евсеев, Н.Г. Кузавков и др. Реализация принципа естественной безопасности в проекте РУ БН- 1200 // Международный журнал «Безопасность ядерных технологий и окружающей среды», 2012, №1, с. 62-65.

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, старший преподаватель кафедры АТЭС ЭНИН ТПУ